

*А. В. Агузаров, С. А. Багаев, А. Ф. Гутиев, Р. В. Ключев*  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ),  
г. Владикавказ, kluev-roman@rambler.ru

## РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ

*В работе рассматриваются основные показатели структурной надежности электрической сети. Рассчитана относительная частота отказов и время восстановления каждой воздушной линии за весь период эксплуатации.*

Ключевые слова: электроэнергетическая система; надежность электрической сети; поток отказов; время восстановления.

*A. V. Aguzarov, S. A. Bagaev, A. F. Gutiev, R. V. Klyuev*  
North Caucasian Institute of mining and metallurgy  
(State Technological University), Vladikavkaz

## CALCULATION OF THE INDICATORS OF THE RELIABILITY OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM ELEMENTS OF A 110 KV

*The paper discusses the main indicators of the structural reliability of the electrical network. The relative failure rate and recovery time of each air line for the entire period of operation is calculated.*

Keywords: power system; reliability of the electrical network; the flow of failures; recovery time.

Основными показателями структурной надежности электрической сети являются показатели надежности элементов исследуемой электроэнергетической системы (ЭЭС) [1].

В работе приведены данные по статистике отказов элементов ЭЭС «Севкавказэнерго» 110 кВ с 2010 по 2017 гг. В настоящее время в эксплуатации находится 81 воздушная линия 110 кВ и 33 ПС, в которых установлены 61 трансформатор [2–4].

Для количественной оценки надежности элементов ЭЭС 110 кВ «Севкавказэнерго» использованы параметр потока отказов и время восстановления [3]. По таблице базы данных по каждой линии задается поиск числа отказов каждой линии за каждый год, который приведен в табл. 1.

Таблица 1

Частота отказов ВЛ-110 кВ ЭЭС «Севкавказэнерго»

	A	B	C	8	D	E	F	I	J	K	L
1	Частота отказов ВЛ-110 кВ по годам									среднее значение	вероятность отказа
2	ЛЭП	2010	2011	2012	2013	2014	2016	2017	Общая		
3	ВЛ-1	5	6	8	7	6	6	2	40	5,7143	0,6596
4	ВЛ-2	1	0	0	2	0	0	0	3	0,4286	0,0526
5	ВЛ-3	1	1	1	0	3	0	1	7	1	0,122
6	ВЛ-4	0	4	8	2	1	3	1	19	2,7143	0,3246
7	ВЛ-5	2	0	15	1	1	1	0	20	2,8571	0,3411
8	ВЛ-6	0	1	1	0	0	0	0	2	0,2857	0,0352
9	ω, 1/год										

По табл. 1 можно рассчитать относительную частоту отказов каждой линии за весь период эксплуатации и среднее значение параметра потока отказов по годам для ВЛ-110 кВ (число линий  $N=81$ ).

Для каждой линии определяется вероятность отказов, предполагая простейший поток отказов:

$$Q = \frac{(\omega \cdot t)^k}{k!} \cdot \exp(-\omega \cdot t) \quad (1)$$

где  $t$  – период исследования,  $t = 1$  год;

$k$  – число интервалов,  $k = 7$ .

Недостаток расчета средних показателей надежности в том, что индивидуальные особенности каждого элемента и прогноз будет

недостаточно объективным. Если есть база данных по каждому элементу, более объективной оценкой надежности будет наработка на отказ для каждого элемента.

Для расчета наработки на отказ необходимо определить для каждой линии время между двумя отказами по каждому году.

Наработка на отказ каждого элемента в электронных таблицах EXCEL определяется задаваемой формулой в той ячейке, куда заносится показатель надежности. При анализе схемной надежности обычно используются средние показатели элементов независимо от места их установки, поэтому для однотипных элементов (ЛЭП, ТР, ВВ, СШ) определяют среднегодовые показатели надежности:

- средняя наработка на отказ:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_i \quad (2)$$

- среднее время восстановления:

$$\bar{t}_B = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N t_{Bi} \quad (3)$$

В расчетах обычно используют обратные величины:

- средняя интенсивность отказов:

$$\bar{\lambda} = 1 / \bar{t} \quad (4)$$

- средняя интенсивность восстановления:

$$\bar{\mu} = 1 / \bar{t}_B \quad (5)$$

В сводной таблице (табл. 2) показатели надежности распределены по годам, для анализа и прогнозирования надежности элементов исследуемой ЭЭС. Используя данные этой таблицы, можно построить регрессионные модели и оценивается адекватность и достоверность прогнозирования на основе известных методов факторно-регрессионного анализа. Для этого необходимо разработать соответствующие программы, отвечающие поставленным задачам.

Сводная таблица показателей надежности элементов 110 кВ

Год	Тип элемента	Средние показатели надежности			
		аварийных отказов		преднамеренных отключений	
		$\lambda$ , 1/год	$\mu$ , 1/ч	$\lambda_{в}$ , 1/год	$\mu_{в}$ , 1/ч
1991	Воздушная линия	0,23649	0,05579	3,863	0,1022
	Трансформатор	0,03996	0,01187	0,08635	0,0325
	Выключатель	0,01843	0,08865	2,092	0,2266
	Устройство автоматики	0,00188	0,223	—	—
	Генератор э/ст	0,05833	0,0312	0,442	0,0634

Распределение частоты отказов среди них неодинаково, так около 20 % линий в среднем отключались 2–3 раза в год по разным причинам и на различные длительности, в том числе и на время срабатывания автоматики. Более 30 % ВЛ отключались не более 2–3 раз (табл. 2).

#### Список использованных источников

1. Фокин Ю. А. Вероятностные методы в расчетах надежности электрических систем электроснабжения. М. : Энергоатомиздат, 1985. 170 с.
2. Джиникаев А. О., Икаев А. Э., Цакоев М. Т., Клюев Р. В., Гаврина О. А., Берко И. А. Оценка влияния климатических факторов на работу воздушных линий напряжением 110 кВ // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н. И. (1945–2015) – Даниловских чтений. Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 159–163.
3. Клюев Р. В., Котова О. А., Гаврина О. А. Результаты эффективного управления единой промышленно-энергетической системой в горных территориях // Кибернетика энергетических систем : сборник материалов XXXVII сессии семинара по тематике «Электроснабжение», г. Новочеркасск, 13–16 октября 2015 г. Новочеркасск : Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, 2016. С. 9–12.
4. Клюев Р. В., Кусов И. Р. Анализ показателей надежности электроэнергетической системы // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (Екатеринбург, 15–18 декабря 2015 г.). Екатеринбург : УрФУ, 2015. С. 138–140.